

ÇATI KAFES SİSTEMLERİNİN LAZER TARAYICI YARDIMI İLE MODELLENMESİ

Burhan GÜL¹, Güney UZUNBOZ¹, Zaide DURAN¹, Şinasi KAYA¹, Mehmet Furkan Çelik¹ Umut AYDAR¹

¹ İTÜ, İnşaat Fak. Geomatik Müh. Böl. Ayazağa Kampüsü 34469 Maslak-İstanbul, gulbu@itu.edu.tr, uzunboz@itu.edu.tr

¹Yrd.Doç.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü,34469, Maslak, İstanbul, duanza@itu.edu.tr

¹Doç.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü,34469, Maslak, İstanbul, kayasina@itu.edu.tr

¹Araş.Gör.İstanbul Teknik Üniversitesi,Geomatik Müh. Böl. 34469 Maslak-İstanbul, celikmeh@itu.edu.tr

¹Dr. İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Müh. Böl. 34469 Maslak-İstanbul aydaru@itu.edu.tr

ÖZET

Hızla gelişen teknoloji ile geleneksel ölçme yöntemleri yerini lazer tarama teknolojisine bırakmıştır. Lazer taramanın; geleneksel teknolojilere göre işgücü, hız, doğruluk, işlem kolaylığı gibi büyük üstünlükleri bulunmaktadır. Bu teknoloji üç boyutlu modelleme teknolojisine büyük katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada; yersel lazer tarayıcıların endüstriyel alanda kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla, İstanbul Teknik Üniversitesi Merkez Spor Salonu çatısındaki uzay kafes sistemi gidiş geliş süresi (impuls) prensibine göre çalışan lazer tarayıcı kullanılarak taranmıştır. Bu prensiple çalışan sistemler uzun mesafelerde (100 m) ölçme yapabilir ve makul doğruluklar elde etme avantajına sahiptir. Uzay kafes sistemine ait, modelleme için kullanılacak olan 3 boyutlu konum verilerinin hızlı ve detaylı bir şekilde toplanmasını sağladığı için yersel lazer tarayıcılar bu alanda kullanılabilir.

Bu kapsamda kafes sistemini oluşturan objelerin 3 boyutlu modelleri oluşturulmuş ve lazer tarama tekniği ile karmaşık bir geometriye sahip olan uzay kafes sistemini modellemenin doğruluğu araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yersel Lazer Tarama, 3B Model, Uzay Kafes Sistemleri

ABSTRACT

Thanks to rapidly developing technology, traditional measurement methods give way to laser scanning technology. Laser scanning has various superiorities such as work force, speed, accuracy, process ease in comparison with traditional scanning. This technology makes a significant contribution to three-dimensional modelling technology.

In this study, Istanbul Technical University Central Sports Hall space frame system on the roof was scanned with laser scanners which is operating impuls principle to investigate availability of terrestrial laser scanners in industrial area. Operating systems with this principle can measure long distances (100m) and have advantages of obtaining reasonable accuracies. Terrestrial laser scanners are convenient in this area, in order to enable collecting quickly and detailed 3 dimensional position datas belonging to the space frame system. In this context, three-dimensional solid model of space frame system objects was constituted and complex geometric space frame system modelling accuracy was researched.

Keywords: Terrestrial Laser Scanner, 3D Model, Space Frame System

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişen teknoloji klasik ölçme tekniklerinde de etkisini göstererek lazer tarama teknolojisine gelişmesine yol açmıştır. Bu teknoloji kullanıcıya doğrudan 3 boyutlu konum bilgisi sağlayan, doğruluğu yüksek ve klasik sistemlere göre daha hızlı ölçme yapabilmesiyle öne çıkmaktadır. Klasik ölçme tekniklerinde uzun zaman alan, ulaşılması güç veya tehlikeli bölgelerin ölçülmesinde yüksek maliyet gerektiren çalışmalar, lazer tarama tekniği ile kolayca yapılabilmektedir.

Yersel lazer tarayıcılar, taranan nesneye gönderilen lazer ışını sayesinde milyonlarca noktanın 3 boyutlu koordinatlarını elde edebilmektedir. Lazer tarayıcılar ile elde edilen ve nokta bulutu olarak adlandırılan bu 3 boyutlu verilerin işlenmesi ile 3 boyutlu modeller elde edilebilmektedir.

Modern üretim teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak endüstriyel ürünlerin doğru ve hızlı olarak kontrol edilmeleri gereksinimi doğmuştur. Lazer tarama teknolojisi sağladığı yoğun veri seti ve oluşturabilen 3 boyutlu modeller ile bu gereksinimi karşılamaktadır. Doğru duyarlılıkla elde edilen nokta bulutu verileri üzerinden çeşitli analizler ve yorumlar yapmak mümkündür.

Bu çalışmada öncelikle lazer tarama teknolojisi ve gelişimi hakkında bilgi verildikten sonra bu çalışmada kullanım olanakları ele alınmış, bu teknolojinin hangi yöntemlerle birlikte ve hangi doğruluklarla kullanılabileceğinden bahsedilmiştir.

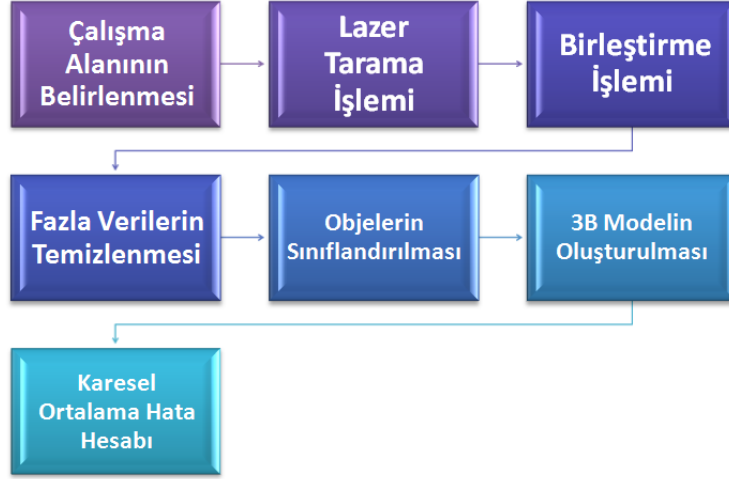
1.1.YERSEL LAZER TARAYICI SİSTEMLER

Hızlı ve minimum giderle, bütün obje hakkında eksiksiz 3 boyutlu geometrik ve görsel bilgiye ulaşmak lazer tarama teknolojileri ile olmaktadır. Tarama süresinin kısalığı, elde edilen nokta sayısının fazlalığı, taranan objenin gerçek modeline uygun nokta kümelerinin elde edilişi ile son zamanlarda yersel tarama teknolojisini ön plana çıkarmıştır. Lazer tarayıcıların doğruluk araştırmasıyla ilgili pek çok metot geliştirilmiş ve sonuçları yayınlanmıştır. Bu sonuçlara göre, lazer tarayıcıların ölçü doğruluğu uzun mesafelerde (>1000m) 10cm, ışın yapısına bağlı olarak azalsa da kısa mesafelerde (<300m) ölçü hassasiyeti 1cm civarındadır (Altuntaş, C., Yıldız F. 2008). Yersel tarama teknolojisi sayesinde obje ile temas kurmadan ölçüm yapılabilmektedir. Bu teknoloji ile yüksek doğrulukla sayısal arazi modeli ve gerçek renkli görüntü üretilebilmektedir. Lazer tarama yöntemi mevcut ölçme yöntemleriyle birlikte kullanılabilir ve ölçülerin diğer ölçme verileriyle entegrasyonu sağlanabilir. (Duran ve Aydar, 2009). Yersel lazer ölçmelerinde temel büyüklük, alet ve ölçülen nokta arasındaki mesafedir. Lazer mesafe ölçümü için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar; üçgenleme, faz farkı ölçümü, ışının gidiş/dönüş zamanı ölçümüdür. (Lichti D.D. ve Gordon S.J. 2004). Üçgenleme metodunda tarayıcı, mekanik aletin bir ucundan nesneye olan artan, değişen açılarla ve lazer noktalarını sezen bir ya da iki CCD kamerayla lazer ışını gönderir. Yansıtıcı yüzey elementlerinin 3D pozisyonları, sonuç üçgeninden elde edilir. Faz farkı ölçme yönteminde iletilen lazer, uyumlu bir dalgayla ayarlanır ve mesafe, iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanır. Lazer ışınının gidiş geliş süresi ile ölçüm yapılırken bir lazer ışını nesneye gönderilir ve gönderici ile yüzey arasındaki mesafe, sinyal iletimi ile alımı arasındaki seyahat zamanı ile ölçülür. Bu yöntemlerle elde edilen nokta bulutu verileri objenin 3B modelini oluşturmak için seçilen referans koordinat sisteminde birleştirilir. Nokta bulutlarının referans koordinat sisteminde birleştirilmesi; iteratif en yakın nokta, en küçük karelerle 3B yüzey eşleme, bağımsız model yöntemi ya da doğrudan jeodezik koordinatlı ölçmelerle yapılabilir (Gümüş K., Erkaya H. 2007). Lazer tarama işlemiyle elde edilen nokta bulutundan; temel ölçme

verileri, ortofoto görüntüler, 2 veya 3 boyutlu çizimler, 3B animasyon, katı yüzey modelleri ya da doku giydirilmiş 3B modeller elde edilebilir. Etkin bir veri toplama tekniği olan lazer tarayıcılar hem ölçmecilere hem de bu ölçüleri kullananlara büyük kolaylıklar sağlar (Duran ve Aydar, 2012).

1.2 ÇATI KAFES SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Uygulama kapsamında **Leica ScanStation C10** yersel lazer tarayıcı ve LeicaCyclone8.1 yazılımı kullanılmıştır. Uygulamada izlenmesi gereken işlem adımları planlanmıştır (Şekil 1.).



Şekil 1. İş Akış Diyagramı

Uygulama alanı olarak İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Merkez Spor Salonu tavanındaki uzay kafes sistemi seçilmiştir. Lazer tarama sistemlerinin endüstriyel ürünlerin modellenmesinde kullanılmasına örnek olması amacıyla uzay kafes sistemi seçilmiştir.

Uzay kafes sistemleri, ana öğeleri çubuk ve noktasal düğüm elemanlarından oluşan üç boyutlu örgülerden oluşan yapı sistemleridir. Büyük oranda çatı örtüsü olarak algılanmasına ve kullanılmasına karşın uzay kafes sistemleri, görselliği ile yapıları modern kimlik verir. Statik olarak üç boyutta çalışabilme özelliği nedeniyle hafif bir çatı türüdür.

Spor oyunlarının gerçekleştiği salonlar geniş açıklığın kaçınılmaz olduğu alanlardır. Mekanda seyirci ile spor alanı arasında görüntüyü engelleyecek taşıyıcı bir unsur konulamaz. Bu işlevsel özellik spor komplekslerinin büyük açıklıklı yapılar olmasını zorunlu hale getirirken, uzay kafes sistemlerinin kullanımı yaygınlaştırmakta ve yapı endüstrisinin gelişimini sağlamaktadır (Yücel, 2012).

Uzay kafes sistemlerde çubukların birleşim noktaları küre formunda ve sıcak dövme ile şekillendirilmiş çelik malzemelerdir.

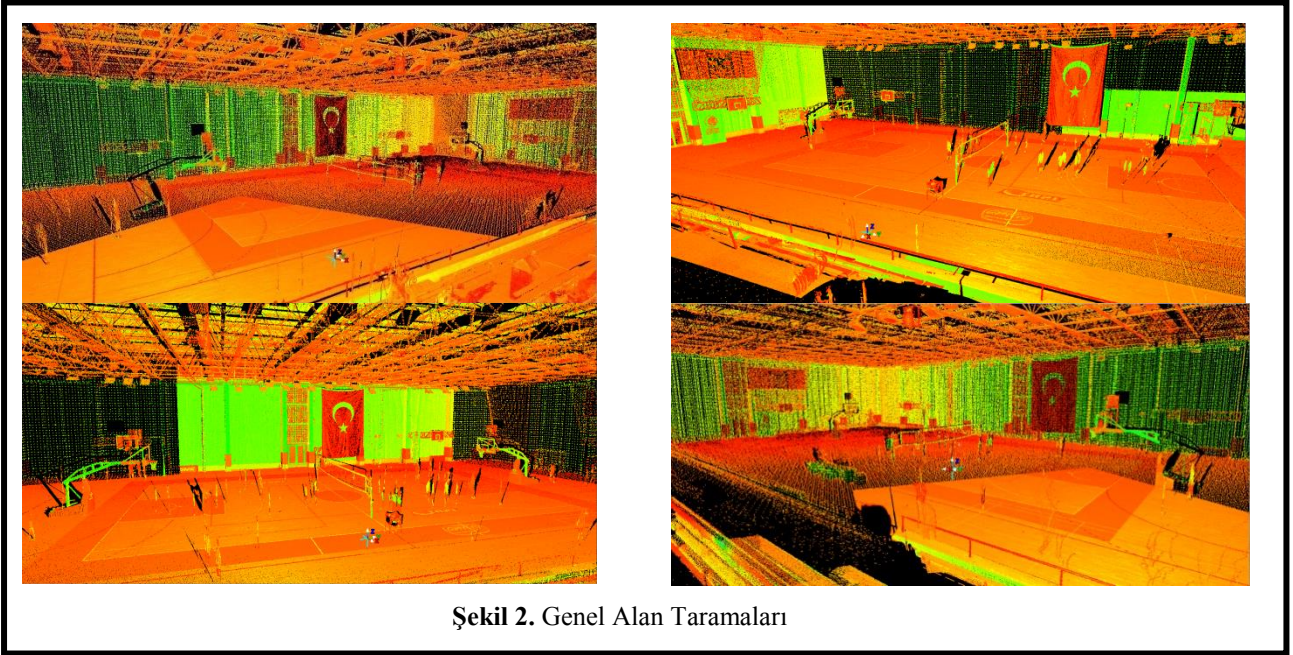
Lazer tarama iş planı aşamasında; tarama işleminin gerçekleştirileceği istasyon konumları, tarama yapılacak istasyon sayıları, taramanın konumsal çözünürlüğü belirlenmelidir.

Lazer tarama istasyon sayısı ve yerleri taranacak kafes sisteminin tamamını kapsayacak ve gölgede alan bırakmayacak şekilde seçilmeye çalışılmıştır. Taramanın konumsal çözünürlüğü, tarayıcının mesafe ölçüm hassasiyeti ile hangi sıklıkta nokta ölçmesini belirten açısal çözünürlüğü bağlıdır. Çalışmada kullanılan LeicaScanStation C10 lazer tarayıcı 300 metreye kadar yüksek doğrulukla ölçüm yapabilmekte ve saniyede

50.000 nokta okuyabilmektedir. Çalışma alanında tarama istasyonları ile taranan en uzak alan arasındaki mesafe 50 metreden daha küçüktür. Bu çalışma kapsamında tarayıcı ile taranan sistem arasındaki mesafe yakın olduğundan taramanın çözünürlüğü genel olarak “medium” çözünürlük derecesinde seçilmiştir.

Lazer tarama işleminde LeicaScanStation C10 yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu lazer tarayıcı, lazer ışınının gidiş-geliş zamanı ilkesine göre çalışmaktadır. Lazer ışınının gidiş geliş süresi ile ölçme yapılırken bir lazer ışını nesneye gönderilir ve gönderici ile yüzey arasındaki mesafe, sinyal iletimi ile alımı arasındaki seyahat zamanı ile ölçülür. Bu yöntemlerle elde edilen nokta bulutu verileri seçilen referans koordinat sisteminde birleştirilir.

Bu çalışmada; İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Merkez Spor Salonu tavanındaki uzay kafes sistemi için dört istasyon noktası belirlenmiştir. 3B nokta bulutu verisini elde etmek için planlama aşamasında belirlenen her bir istasyon noktasından tarama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.).



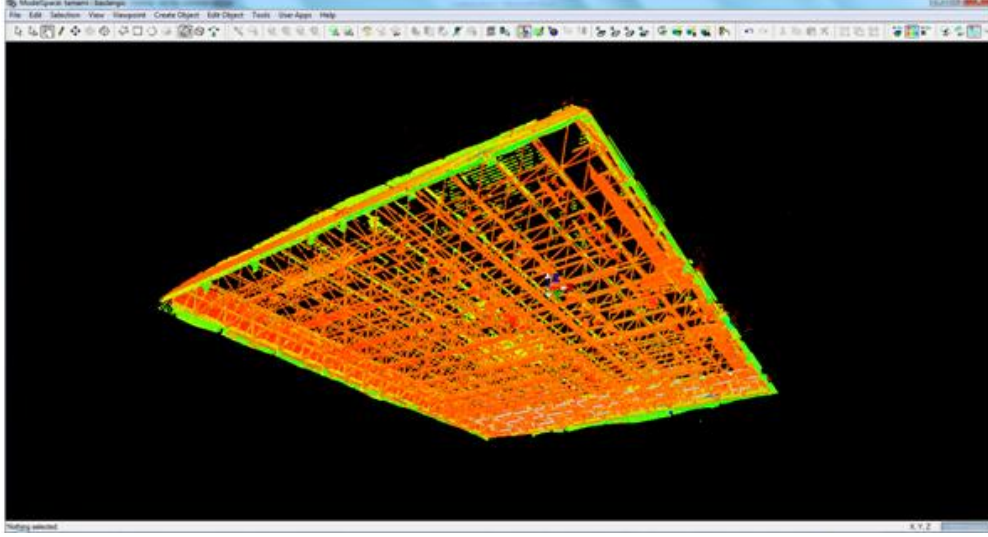
Şekil 2. Genel Alan Taramaları

Taranacak genel alan 0°-360° arasında olabileceği gibi kullanıcı tarafından seçilen belli bir açısal aralıkta da olabilir. Bu çalışma kapsamında istasyon noktalarının tamamından genel alan taraması yapılmıştır. Dört durak noktasına alet kurularak gerçekleştirilen bu taramalar sonucunda elde edilmek istenen veriyi sağlayacak yeterlilikte dört adet 3B nokta bulutu verisi elde edilmiştir.

Lazer tarama işlemi ile elde edilen nokta bulutu verileri iki farklı işlemle birleştirilebilir. Siyah-beyaz hedefler kullanılarak yapılan işlem otomatik birleştirmedir. Projede ise birleştirme, siyah-beyaz hedefler kullanılmadan yapılmış, “LeicaCyclone” yazılımı kullanılarak manuel olarak birleştirilmiştir Manuel birleştirme işleminde, ilk istasyondan elde edilen nokta bulutu verisi referans olarak seçilmiş ve serbest tarama ile elde edilen nokta bulutu verileri bu veri ile birleştirilmiştir. Genel tarama ile elde edilen nokta bulutu verilerini birleştirmek için en az üç ortak nokta seçilmesine dikkat edilmiştir.

Birleştirme işleminin kontrolü gerçekleştirilerek nokta bulutlarının örtüşüp örtüşmediği belirlenmiş ve yeterli bulunmuştur

Tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verileri taramaya esas olan bina dışında bir çok fazla ve gereksiz veriyi bulundurmaktadır. 3B modellemede kullanılmayacak olan bu veriler LeicaCyclone yazılımı yardımı ile temizlenmiştir (Şekil 3.).



Şekil 3. LeicaCyclone Yazılımında 3B Nokta Bulutu Verisi Görünümü

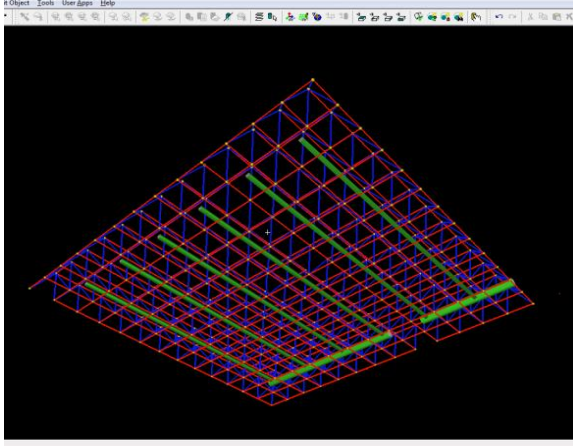
LeicaCyclone yazılımında oluşturulan birleştirilmiş ve koordinatlı nokta bulutu üzerinden, İstanbul Teknik Üniversitesi Merkez Spor Salonu çatı sisteminin, 3B modelinin oluşturulması amacıyla bu sistemin parçası olan boruların modellenmesine başlanmıştır.

Çatı sisteminde bulunan her bir boruyu oluşturan noktaların üzerinde Piping modülü kullanılarak 3B modelleme yapılmıştır. Piping modülünde, genel amaç tekniğine uygun olarak istenilen standartlarda boru sistemleri katı modelinin oluşturulmasıdır. Modelleme yapılacak olan borular Yatay, Düşey ve Ana borular olarak sınıflandırılmıştır.

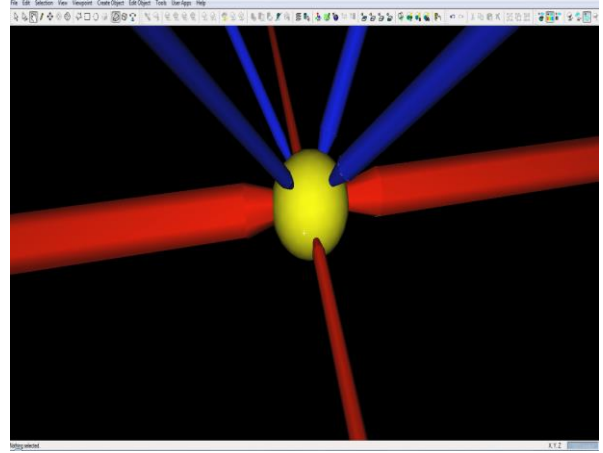
Modülün içinde yer alan özelliklerle, oluşturulan katı model hakkında bilgiler (boru çapı, uzunluğu vb.) elde edilip değerlendirilebilmekte ayrıca borular üzerinde boy uzatma, çap değiştirme, birleştirme, döndürme gibi işlemler yapılabilmektedir.

Ana borular, yatay borular ve yatay borular arasında bulunan ve bağlantıyı oluşturan düşey borular nokta bulutu verilerinden modellenmiştir (Şekil 4. a).

Yatay ve düşey borular düğüm noktaları aracılığı ile birbirine bağlanmaktadır. Düğüm noktaları küre ve kelepçelerin modellenmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 4. b).



Şekil 4. (a) Piping Modülüyle Oluşturulan Boruların Genel Görünümleri



(b) Düğüm Noktası Görünümü

1.3 KARESEL ORTALAMA HATA HESABI

Modellemenin doğruluk derecesi hakkında fikir vermesi için, karesel ortalama hata hesabı yapılmıştır. Karesel ortalama hata hesabı için, yatay ve düşey olarak sınıflandırılan boruların 10'ar tanesinin tekdüze olmayacak şekilde çapları alınmıştır. Ana borular ise 8 tane olduğu için tamamının çapı hesabı katılmıştır (Çizelge 1.-2.-3.)

Çizelge 1. Ana Borular için Karesel Ortalama Hata Hesap Çizelgesi

	Ana Borular	V	VV
	Çap (m)		
1	0,633	-0,001	0,000002
2	0,634	0,000	0,000000
3	0,631	-0,003	0,000011
4	0,633	-0,001	0,000002
5	0,633	-0,001	0,000002
6	0,634	0,000	0,000000
7	0,632	-0,002	0,000005
8	0,644	0,010	0,000095
Toplam	5,074		0,000116
Ortalama	0,634		
m	$v(\sum vv)/(n)$	0,0038	
mo	$(mo)/v(n)$	0,001343	

Çizelge 2. Yatay Borular için Karesel Ortalama Hata Hesap Çizelgesi

1	Yatay Borular	V	VV
2	Çap (m)		
3	0,161	-0,001	0,000001
4	0,162	0,000	0,000000
5	0,161	-0,001	0,000001
6	0,162	0,000	0,000000
7	0,162	0,000	0,000000
8	0,161	-0,001	0,000001
9	0,162	0,000	0,000000
10	0,162	0,000	0,000000
11	0,161	-0,001	0,000001
12	0,167	0,005	0,000024
13			
14	Toplam	1,621	0,000029
15	Ortalama	0,1621	
16	m	$\sqrt{(\sum vv)/(n)}$	0,0017
17	mo	$(mo)/\sqrt{(n)}$	0,00054
18			

Çizelge3. Düşey Borular İçin Karesel Ortalama Hata Hesap Çizelgesi

	Düşey Borular	V	VV
	Çap (m)		
	0,050	0,005	0,000022
	0,046	0,001	0,000000
	0,044	-0,001	0,000002
	0,049	0,004	0,000014
	0,045	0,000	0,000000
	0,043	-0,002	0,000005
	0,046	0,001	0,000000
	0,043	-0,002	0,000005
	0,044	-0,001	0,000002
	0,043	-0,002	0,000005
	Toplam	0,453	0,000056
	Ortalama	0,045300	
	m	$\sqrt{(\sum vv)/(n)}$	0,0023685
	mo	$(mo)/\sqrt{(n)}$	0,000749

2. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yersel lazer tarayıcılar 3 boyutlu veri toplamada etkin araçlardır. Endüstriyel alanda, modellerin üretilmek istendiği çalışmalarda tarama ve modelleme işlemleri için hangi alet, ekipman ve yazılımların kullanılacağı belirlenmesi ve buna göre bir planlama yapılması son derece önemlidir. Bu çalışmada “LeicaScanStation C10” yersel lazer tarayıcı ve “LeicaCyclone” yazılımı kullanılmıştır. Tarama sonucunda elde edilen verilerin bilgisayar ortamında modelleme yazılımında işlenerek 3B katı modelinin oluşturulması ve oluşturulan bu 3B katı modellerin yorumlanarak sistemi oluşturan borular ile ilgili bilgilerin çıkarılması mümkündür.

Bu çalışmada İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Merkez Spor Salonu tavanındaki uzay kafes sistemi lazer tarayıcı ile taranmıştır. Lazer tarama sistemlerinin endüstriyel ürünlerin modellenmesinde kullanılmasına örnek teşkil etmesi amacıyla uzay kafes sistemi seçilmiştir.

Modelleme sonucunda oluşturulan borular Yatay, Düşey ve Ana borular olarak sınıflandırılmıştır. Yatay ve düşey borulardan karesel ortalama hata hesabı için 10'ar adet örnek alınmıştır. Ana borular ise 8 adet olduğu için tamamı hesaba katılmıştır. Alınan örnekler üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda yatay borular için karesel ortalama hata $m_0=0.00054$ m, düşey borular için karesel ortalama hata $m_0=0.00075$ m, ana borular için karesel ortalama hata $m_0=0.00134$ m bulunmuştur. Objeye yüzeylerinin yansıtıcılığı, rengi ve parlaklığı gibi özelliklerinin veri kalitesini etkilediği sonucuna varılmıştır. Objeye yüzeylerinin özelliğine göre farklılık gösterebilen 3B nokta bulutu verilerinin zaman zaman düzensiz veya yanlış olabileceği, taranan objeyi birebir yansıtmayabileceği göz ardı edilmemelidir. Belirli istasyonlara kurulan lazer tarayıcı ile elde edilen veriler ile bazı yerlerde modelleme yapılamamaktadır. Bunun sebebi ise görüş açılarının yetersiz olmasıdır. Çözüm olarak farklı yerlerden ek tarama işlemlerinin yapılması gerektiği göz ardı edilmemelidir. Kafes sistemleri genellikle düzgün geometrik şekillerden oluştuğundan, modelleme sonucu çıkan hataların küçük olması olağandır. Ancak daha karmaşık yapılar için modelleme için ek tarama işlemlerinin gerekliliği, buna bağlı olarak tarama sonrası işlemlerin de artacağı kaçınılmazdır.

Lazer tarama cihazı ile yapılan tarama işleminde milyonlarca nokta elde edilmektedir. Bu noktaların bilgisayarda kapladığı boyutun büyük olması, verilerin işlenmesini yavaşlatmaktadır. Verilerin işlenmesinde çalışma kapasitesi yüksek bilgisayarların kullanılması veri işleme aşamasını hızlandıracaktır.

Proje sonunda yapılan değerlendirmede, objelerden daha fazla sayıda örnek alınarak çeşitlilik sağlanıp daha sağlıklı bir değerlendirme yapılabilir.

Sunulan çalışmadaki uygulamadan da görüleceği üzere teknolojik gelişmeler Geomatik Mühendisliğinin endüstri ve sanayi alanıyla da ilgilenen bir meslek haline geldiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Altuntaş, C., Yıldız F., Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi

Duran, Z., Aydar U, 2012.Digital modeling of world's first known length reference unit: "the Nippur cubit rod".*Journal of Cultural Heritage*, Cilt: 13, No: 3, Sf: 352-356, 2012.

Duran, Z., Aydar, U., 2009. Nippur Uzunluk Ölçme Aletinin 3B Modellenmesi ve Görselleştirilmesi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu, 4-6 Şubat 2009, MTA, Ankara.

Gümüş, K., Erkaya, H. 2007 TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2 – 6 Nisan, Ankara

Lichti D.D. ve Gordon S.J. 2004 Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording, Proceedings of FIG Working Week, s.on CD, Athens, Greece, 22-27

Yücel E., 2012. Uzay Kafes Sistemleri Analizi. İzmir.